

TRANSLATION

⇒ 376/190

METHOD AND APPARATUS FOR INDUCING NUCLEAR REACTIONS  
[Kakuhanno No Yukiho Oyobi Kakuhanno Yukisochi]

Koshichi Nemoto, et al.

INV

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
Washington, D. C. September 2003

Translated by: FLS, Inc.

PUBLICATION COUNTRY	(19):	JP
DOCUMENT NUMBER	(11):	2002-107494
DOCUMENT KIND	(12):	A
	(13):	PUBLISHED UNEXAMINED APPLICATION (Kokai)
PUBLICATION DATE	(43):	20020410
PUBLICATION DATE	(45):	
APPLICATION NUMBER	(21):	2000-295208
APPLICATION DATE	(22):	20000927
ADDITION TO	(61):	
INTERNATIONAL CLASSIFICATION	(51):	G21G 4/00; G21B 1/02; G21K 1/00, 5/04, 5/08
INVENTORS	(72):	NEMOTO, KOSHICHI; NAYUKI, TAKUYA; MAKSIMUCHUK, ANATOLY; BYCHENKOV, VARELY YU; BANERJEE, SUDEEP; GU, SHAOTING; FLIPPO, KURK; MOUROU, GERALD; UMSTADTER, DONALD
APPLICANT	(71):	CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY, THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN
TITLE	(54):	METHOD AND APPARATUS FOR INDUCING NUCLEAR REACTIONS
FOREIGN TITLE	[54A]:	Kakuhanno No Yukiho Oyobi Kakuhanno Yukisochi

[Claim 1] A method for inducing a nuclear reaction by momentarily irradiating a member to be irradiated with a laser beam having an energy that can ionize the irradiated member so as to generate high-energy particles and by applying these high-energy particles to a target material, thereby inducing a nuclear reaction.

[Claim 2] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 1, wherein the laser beam is a pulse laser beam whose pulse duration is 10 picoseconds or less.

[Claim 3] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 1 or 2, wherein the target component and the member to be irradiated are the same member.

[Claim 4] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 1 or 2, wherein the target component is a member that is different from the member to be irradiated.

[Claim 5] The method for inducing a nuclear reaction stated in one of Claims 1 through 4, wherein a laser beam having an energy intensity that can accelerate the high-energy particles to kinetic energies of 100 kiloelectron volt or higher is applied to the member to be irradiated.

---

\* Number in the margin indicates pagination in the foreign text.

[Claim 6] The method for inducing a nuclear reaction stated in one of Claims 1 through 5, wherein the high-energy particles are either electrons, electromagnetic waves, or positive ions.

[Claim 7] The method for inducing a nuclear reaction stated in one of Claims 1 through 6, wherein the high-energy particles are accelerated vertically to the laser-irradiated plane of the irradiated member and also in the direction away from the laser-emission source.

[Claim 8] The method for inducing a nuclear reaction stated in one of Claims 1 through 6, wherein the high-energy particles are either hydrogen nuclei, deuterium nuclei, or tritium nuclei and wherein the high-energy particles are applied to the target component to induce a nuclear fusion reaction.

[Claim 9] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing boron-11, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{11}\text{B}(\text{p},\text{n})^{11}\text{C}$ .

[Claim 10] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein deuterium atoms [sic] are applied as the high energy particles to a target component containing boron-10, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{10}\text{B}(\text{d},\text{n})^{11}\text{C}$ .

[Claim 11] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein hydrogen nuclei are applied as the high energy

particles to a target component containing boron-10, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$ .

[Claim 12] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein deuterium atoms [sic] are applied as the high energy particles to a target component containing carbon-12, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})^{13}\text{N}$ .

[Claim 13] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing nitrogen-14, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)^{11}\text{C}$ .

[Claim 14] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing oxygen-16, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)^{13}\text{N}$ .

[Claim 15] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein deuterium nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing nitrogen-14, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})^{15}\text{O}$ .

[Claim 16] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing nitrogen-15, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{15}\text{N}(\text{p},\text{n})^{15}\text{O}$ .

[Claim 17] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein deuterium nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing neon-20, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{20}\text{Ne}(\text{d}, \alpha)^{18}\text{F}$ .

[Claim 18] The method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, wherein hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing oxygen-18, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ .

[Claim 19] The method for inducing a nuclear reaction stated in one of Claims 1 through 18, wherein the application of the laser beam is repeated with intervals that are shorter than the half-life of the product of the nuclear reaction.

[Claim 20] The method for inducing a nuclear reaction stated in one of Claims 1 through 19, wherein the member to be irradiated is a thin film or gas jet.

[Claim 21] The method for inducing a nuclear reaction stated in one of Claims 1 through 7, 19, and 20, wherein the high-energy particles are applied to the target component to excite the nuclei inside the target component.

[Claim 22] An apparatus for inducing nuclear reactions that is equipped with a member to be irradiated, a laser-beam application means that applies laser beams having energies that can ionize the member to be irradiated so as to generate high-energy particles, and a

target component that contains nuclei that are induced to have a nuclear reaction by the high-energy particles.

[Detailed Description of the Invention]

[0001] [Technical Field of the Invention]

The present invention pertains to a method for inducing nuclear reactions and an apparatus for inducing nuclear reactions. More specifically, the present invention pertains to a method and apparatus for inducing nuclear reactions with the use of a laser beam, and it pertains to an easy-to-use nuclear-reaction-inducing method and apparatus that are suitable for applications to the medical field, material inspections, equipment diagnostics, nuclide quenching, and nuclear-reaction simulators.

[0002] [Prior Art]

/3

In order to bring about a nuclear reaction, it is necessary to apply a huge kinetic energy to charged particles, such as neutrons, hydrogen nuclei, etc., or particles of electromagnetic waves (photons) and to cause them to, for example, collide with the target nuclei. In order to obtain particles having large kinetic energies, special equipment, such as nuclear reactors, accelerators, etc., have been used, or the disintegration phenomenon of radioisotopes has been utilized.

[0003] [Problems that the Invention Intends to Solve]

The aforesaid methods, however, present problems in radiation control or require expensive and large-scale equipment; thus, they can hardly be described as convenient methods.

[0004] The present invention intends to provide a method for easily inducing nuclear reactions and an apparatus thereof.

[0005] [Means of Solving the Problems]

In order to attain this objective, the nuclear-reaction-inducing method stated in Claim 1 is a method that momentarily irradiates a member to be irradiated with a laser beam having an energy that can ionize the irradiated member, thus generating high-energy particles, and that applies these high-energy particles to a target component, thereby inducing a nuclear reaction.

[0006] When a high-energy pulse laser beam is applied to the member to be irradiated, high-energy particles are generated. These high-energy particles collide with the target component and cause the nuclei in the target component to have a nuclear reaction.

[0007] According to the nuclear-reaction-inducing method stated in Claim 2, the laser beam is a pulse laser beam whose pulse duration is 10 picoseconds or less. Therefore, the peak power of the laser beam can be increased. In addition, the application of the beam is finished before the nuclei of the region irradiated with the laser beam starts



to diffuse, and this is advantageous for the formation of an electric field that accelerates nuclei to a higher energy.

[0008] As in the nuclear-reaction-inducing method described in Claim 3, the target component and the member to be irradiated can be the same member, or, as in the nuclear-reaction-inducing method described in Claim 4, the target component can be a member that is different from the member to be irradiated.

[0009] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 5, a laser beam having an energy intensity that can accelerate the high-energy particles to a kinetic energy of 100 kiloelectron volts or higher is applied to the member to be irradiated. Therefore, nuclear reactions are induced by high-energy particles.

[0010] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 6, the high-energy particles are either electrons, electromagnetic waves, or positive ions. The selection of the particles to be mainly generated among these high-energy particles can be achieved by the selection of the target component. For example, the use of gas, etc., as the target component leads to the selective generation of electrons; thin film to the selective generation of positive ions; and a thick metal target to the selective generation of electromagnetic waves ( $\gamma$ -ray-level electromagnetic waves).

[0011] As in the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 7, the high-energy particles may be accelerated vertically to

the laser-irradiated plane of the irradiated member and also in the direction away from the laser-emission source.

[0012] As in the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 8, the high-energy particles may be either hydrogen nuclei, deuterium nuclei, or tritium nuclei, and these high-energy particles may be applied to the target component to induce a nuclear fusion reaction.

[0013] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 9, hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing boron-11, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{11}\text{B}(\text{p},\text{n})^{11}\text{C}$ . Therefore, carbon-11, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0014] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 10, deuterium atoms [sic] are applied as the high-energy particles to a target component containing boron-10, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{10}\text{B}(\text{d},\text{n})^{11}\text{C}$ . Therefore, carbon-11, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0015] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 11, hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing boron-10, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$ . Therefore, beryllium-7, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0016] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 12, deuterium atoms [sic] are applied as the high energy particles to a target component containing carbon-12, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})^{13}\text{N}$ . Therefore, nitrogen-13, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0017] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 13, hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing nitrogen-14, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)^{11}\text{C}$ . Therefore, carbon-11, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0018] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 14, hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing oxygen-16, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)^{13}\text{N}$ . Therefore, nitrogen-13, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0019] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 15, deuterium nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing nitrogen-14, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})^{15}\text{O}$ . Therefore, oxygen-15, which is a short-life radioisotope, is produced. /4

[0020] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 16, hydrogen nuclei are applied as the high energy

particles to a target component containing nitrogen-15, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{15}\text{N}(\text{p},\text{n})^{15}\text{O}$ . Therefore, oxygen-15, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0021] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 17, deuterium nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing neon-20, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{20}\text{Ne}(\text{d},\alpha)^{18}\text{F}$ . Therefore, fluorine-18, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0022] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 18, hydrogen nuclei are applied as the high energy particles to a target component containing oxygen-18, thereby inducing a nuclear fusion reaction represented by  $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ . Therefore, fluorine-18, which is a short-life radioisotope, is produced.

[0023] According to the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 19, the application of the laser beam is repeated at intervals that are shorter than the half-life of the product of the nuclear reaction. Therefore, a product having a short half-life is accumulated.

[0024] As in the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 20, the member to be irradiated may be comprised of a thin film or gas jet.

[0025] As in the method for inducing a nuclear reaction stated in Claim 21, the high-energy particles may be applied to the target component to excite the nuclei inside the target component.

[0026] Furthermore, the apparatus for inducing nuclear reactions stated in Claim 22 is equipped with a member to be irradiated, a laser-beam application means that applies a laser beam having an energy that can ionize the member to be irradiated so as to generate high-energy particles, and a target component that contains nuclei that are induced to have a nuclear reaction by the high-energy particles.

[0027] Therefore, when a laser beam is applied to the member to be irradiated from the laser-beam application means, high-energy particles are generated. These high-energy particles collide against the target component and cause the nuclei inside the target component to have a nuclear reaction.

[0028] [Embodiments]

The following explains the constitution of the present invention, referring to the best embodiment illustrated in figures.

[0029] Figure 1 shows a nuclear-reaction-inducing method to which the present invention is applied, and Fig. 2 illustrates a nuclear-reaction-inducing apparatus to which the present invention is applied. The nuclear-reaction-inducing apparatus is equipped with a member (11) to be irradiated, a laser-beam application means (12) that applies a

laser beam (18) having an energy that can ionize the member (11) to be irradiated so as to generate high-energy particles (19), and a target component (13) that contains nuclei that are induced to have a nuclear reaction by the high-energy particles (19).

[0030] The member (11) to be irradiated is comprised of, for example, a thin film, more specifically, a Mylar film (14), over which is provided a deuterated plastic layer (15) formed by the application of a deuterated plastic. The thickness of the film (14) is, for example, approximately 10  $\mu\text{m}$ .

[0031] The laser-beam-application means (12) is, for example, comprised of a 10 TW hybrid Ti: sapphire/Nd: phosphate glass CPA laser. This laser is able to deliver a laser beam (18) having an energy of about 3 J with a 400 fs pulse duration onto the deuterated plastic layer (15) of the member (11) to be irradiated, focusing the beam down to a spot size of, for example, about 10 microns in diameter. That is, with this laser, after the pulse duration of the laser beam generated by the oscillator is stretched by the pulse stretcher, it is amplified by the amplifier and then compressed by the pulse compressor, thereby increasing the peak power. With the ultra-short pulse generated in this manner, the laser beam having a large peak power is focused by a focusing lens and applied to the deuterated plastic layer (15) of the member (11) to be irradiated. For example, a laser beam that is generated by the oscillator and that has a pulse duration of 0.1

picosecond and a laser energy of 1 micro J is converted into a laser beam having a pulse duration of 1 nanosecond and a laser energy of 10 micro J by the pulse stretcher, after which it is converted into a laser beam having a pulse duration of 1 nanosecond and a laser energy of 1 J or less by the amplifier and further converted into a laser beam having a pulse duration of 0.1 picosecond and a laser energy of 1 J or less by the pulse-duration compressor. By compressing the pulse duration in this manner, the peak output of the laser beam (18) can be increased to about 10 tera W.

[0032] The target component (13) is, for example, a boron piece in which boron-10 is enriched to about 90 %. The target component (13) is positioned directly behind and 8 mm, for example, away from the laser-beam (18)-irradiated region of the member (11).

[0033] Behind the target component (13) are provided a filter (16) and monitor (17) that are comprised of polyethylene terephthalate film. These are used to estimate the energy of the high-energy particles (19) applied to the target component (13). More specifically, because there is a constant relationship between the thickness of the filter (16) and the kinetic energy of the particles that can pass through it, the detection of the particles that have passed through the filter (16) by the monitor (17) indicates that the particles have a kinetic energy of a certain value or higher. Taking hydrogen ions as an example, since a kinetic energy of about 1 MeV is required for them

to pass through a 10  $\mu\text{m}$ -thick filter (16), the detection of hydrogen ions (hydrogen nuclei) by the monitor (17) indicates that the hydrogen ions have a kinetic energy of 1 MeV or higher. However, the filter (16) and monitor (17) are not essential and can be omitted. /5

[0034] The nuclear-reaction-inducing apparatus is surrounded by shielding walls, which is not shown in the figure, thereby preventing leakage of high-energy particles (19) generated by the application of a high-energy laser beam (18) to the member (11) to be irradiated or radioactive rays emitted from nuclear-reaction products.

[0035] The following explains the method for inducing nuclear reactions. According to this nuclear-reaction-inducing method, a laser beam (18) having an energy that can ionize the member (11) to be irradiated is momentarily applied to the member (11) (Step S1), thereby generating high-energy particles (19) (Step S2), and these high-energy particles (19) are applied to the target component (13) (Step S3), thereby inducing a nuclear reaction (Step S4).

[0036] As the applied laser beam (18), it is preferable to use a pulse laser beam having a pulse duration of 10 picoseconds or less. If the pulse duration is longer than 10 picoseconds, the irradiation time of the laser beam (18) becomes longer, and, as a result, the diffusion of the nuclei ionized by the laser beam (18) starts before the end of the irradiation, which leads to an insufficient formation of the charge-separation region and makes it difficult to accelerate nuclei



sufficiently. By shortening the pulse duration, the peak power can be increased even if the energy is the same; thus, the electric field of the laser beam (18) can be made larger, which, in turn, can increase the positive/negative difference of the charge-separation region.

[0037] When the laser-beam-application means (12) applies a laser beam (18) having an energy of, for example, about 3 J with a 400 femtosecond pulse duration to the deuterated plastic layer (15) of the irradiation member (11), focusing the beam down to a spot size of about 10 microns in diameter (Step 1), the extremely high electric field and light pressure of the laser beam (18) and the traveling electric field formed by the plasma wave induced by the laser pulse expel the electrons from the extremely minute irradiated region and accelerate them.

[0038] Meanwhile, since the nuclei (positive ions) ionized as a result of the expulsion of the electrons have a larger mass than the electrons, they move little for a while after the irradiation of the laser beam (18). As a result, the extremely minute irradiated region becomes a region having positive ions at a high concentration, and its electrostatic force accelerates the positive ions in an explosive manner, thus generating positive ions having, for example, a high energy near 10 megaelectron volts, as shown in Fig. 3 (Step S2). That is to say, by applying the laser beam (18) to the irradiation member (11), positive ions as the high-energy particles (19) can be generated.

However, it is not essential to increase the energy of the high-energy particles (19) to near 10 megaelectron volts, and it is satisfactory if it can be increased to 100 kiroelectron volts or higher. In fact, it is good enough if it can be increased to a level of energy that can induce a nuclear reaction.

[0039] Here, since the region irradiated by the laser beam (18) has a constant area size, the region having a high concentration of positive ions becomes a sheet shape having a diameter of several tens of microns and a thickness of 10  $\mu\text{m}$  or less, thus forming a planer potential distribution. Therefore, the positive ions accelerated by this electric field move vertically to the plane irradiated by the laser beam (18) and in the direction away from the laser-beam-application means (12), which is the laser-emitting source, in other words, in the direction toward the target component (13) located behind the irradiation member (11). In our experiments, the direction of the ion beam, which was the flow of the positive ions, exhibited a spread in a total angle of 40 degrees or thereabouts.

[0040] Because the laser beam (18) in the present embodiment is applied to the deuterated plastic layer (15) of the irradiation member (11), mainly deuterium ions are generated as the high-energy positive ions. In other words, by applying the laser beam (18) to the irradiation member (11), deuterium nuclei, which are high-energy particles (19), can be generated. These high-energy deuterium ions

(deuterium nuclei) are applied to the target component (13) comprised of a boron piece (Step S3). As a result, a nuclear reaction represented by  $^{10}\text{B}(\text{d}, \text{n})^{11}\text{C}$  takes place in the target component (13) (Step S4). This reaction produces carbon-11 ( $^{11}\text{C}$ ) and neutrons (n). The nuclear reaction takes place in the region (13a) that is, for example, up to 1 mm deep from the surface of the target component (13). Therefore, the location of the product, carbon-11, in the target component (13) is clear.

[0041] The formation of the deuterated plastic layer (15) on the irradiation layer (11) may be omitted, and boron-10 does not have to be enriched in the target component (13). In this case, mainly hydrogen ions are produced as the high-energy positive ions. In other words, by applying the laser beam (18) to the irradiation member (11), hydrogen nuclei can be generated as the high-energy particles (19). When these high-energy hydrogen ions (hydrogen nuclei) are applied to the target component (13), a nuclear reaction represented by  $^{11}\text{B}(\text{p}, \text{n})^{11}\text{C}$  takes place. This reaction produces carbon-11 and neutrons.

[0042] Carbon-11 is a virtually pure positron source having a half-life of 20 minutes and can be used for medical applications, material-defect inspections, and the like. Since it has a short half-life of only 20 minutes, its radioactivity attenuates considerably overnight, and, compared with sodium-22 and the like, it has a big advantage in respect to radioactive substance management. With the

aforesaid laser output, 2 nanocuries of carbon-11 can be produced per pulse of the laser beam (18). When this laser output is repeated for 1 hour or thereabouts with a laser that has a repetition rate of 10 Hz, 10 microcuries or more of carbon-11 can be obtained. This value is about the same level as that of sodium-22, which has been commercially available as a calibration radiation source, etc.

[0043] The electrons expelled from the region irradiated by the laser beam (18) and accelerated are high-energy electrons, and they generate high-energy X rays, mainly by the braking radiation in the process of passing through the irradiation member (11) and other substances. Since these X rays are generated in the direction in which the high-energy electrons were moving, they are generated vertically to the plane irradiated by the laser beam (18) and in the /6 direction away from the laser-beam-application means (12).

[0044] Of the X rays thus generated, those having an energy larger than 1.02 ( $=0.51 \times 2$ ) MeV could cause the formation of electron pairs by the interaction with other substances. That is, high-energy positrons (positive electrons) and electrons could be produced. That is to say, by applying the laser beam (18) to the irradiation member (11), electrons, X rays (electromagnetic waves), and positive electrons can be generated as the high-energy particles (19).

[0045] On the other hand, high-energy positive ions generated by the irradiation of the laser beam (18) can cause a nuclear fusion

reaction or nuclear fission reaction with other substances in the irradiated member (11). The  $\gamma$  rays generated by these reactions induce  $(\gamma, n)$  reactions, etc., thereby producing the isotopes and neutrons of pre-reaction elements.

[0046] By changing the combination of the materials that comprise the irradiation member (11) and the target component (13), various kinds of nuclear reactions can be induced in addition to the aforesaid  $^{10}\text{B}(d, n)^{11}\text{C}$  reaction and  $^{11}\text{B}(p, n)^{11}\text{C}$  reaction. For example, when an irradiation member (11) containing hydrogen atoms is used, mainly hydrogen nuclei (p) are produced as high-energy positive ions. By applying these high-energy hydrogen nuclei to a target component (13) containing nitrogen-14, a nuclear fusion reaction represented by  $^{14}\text{N}(p, \alpha)^{11}\text{C}$  can be induced, and a short half-life radioisotope carbon-11 and  $\alpha$  particles can be produced. When hydrogen nuclei are applied as the high-energy particles (19) to a target component (13) containing oxygen-16, a nuclear fusion reaction represented by  $^{16}\text{O}(p, \alpha)^{13}\text{N}$  can be induced, and a short half-life radioisotope nitrogen-13 and  $\alpha$  particles can be produced. When hydrogen nuclei are applied as the high-energy particles (19) to a target component (13) containing oxygen-18, a nuclear fusion reaction represented by  $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$  can be induced, and a short half-life radioisotope fluorine-18 and neutrons can be produced. When hydrogen nuclei are applied as the high-energy particles (19) to a target component (13)

containing boron-10, a nuclear fusion reaction represented by  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$  can be induced, and a short half-life radioisotope beryllium-7 and  $\alpha$  particles can be produced. When hydrogen nuclei are applied as the high-energy particles (19) to a target component (13) containing nitrogen-15, a nuclear fusion reaction represented by  $^{15}\text{N}(p,n)^{15}\text{O}$  can be induced, and a short half-life radioisotope oxygen-15 and neutrons can be produced.

[0047] When an irradiation member (11) containing deuterium atoms is used, mainly deuterium nuclei (d) are produced as the high-energy positive ions, and, by applying these high-energy deuterium nuclei to a target component (13) containing carbon-12, a nuclear fusion reaction represented by  $^{12}\text{C}(d,n)^{13}\text{N}$  can be induced, and a short half-life radioisotope nitrogen-13 and neutrons can be produced. When deuterium nuclei are applied as the high-energy particles (19) to a target component (13) containing nitrogen-14, a nuclear fusion reaction represented by  $^{14}\text{N}(d,n)^{15}\text{O}$  can be induced, and a short half-life radioisotope oxygen-15 and neutrons can be produced. When deuterium nuclei are applied as the high-energy particles (19) to a target component (13) containing neon-20, a nuclear fusion reaction represented by  $^{20}\text{Ne}(d,\alpha)^{18}\text{F}$  can be induced, and a short half-life radioisotope fluorine-18 and  $\alpha$  particles can be produced.

[0048] Furthermore, because the particle energy of x rays, positive ions, etc., generated by the irradiation of the laser beam

(18) having the aforesaid output exceeds the threshold of nuclear fission reactions, nuclear reactions can be induced easily. For example, by using an irradiation member (11) containing hydrogen atoms and a target component (13) containing uranium, etc., and by applying hydrogen ions having a high energy of, for example, 10 MeV or thereabouts to the target component (13), it is possible to cause uranium, etc., to undergo a nuclear fission reaction.

[0049] It is also possible to excite nuclei. More specifically, the high-energy particles (19) generated by the application of laser beam (18) to the irradiation member (11) can excite the nuclei in the target component (13), thereby producing nuclear isomers. Because a  $\gamma$  ray having a certain energy is emitted in the nuclear isomer transition phenomenon, in which nuclear isomers are converted into more stable nuclear isomers, a line-spectral  $\gamma$  radiation source can be obtained, and there is a prospect of developing it into  $\gamma$ -ray lasers.

[0050] Since the present invention uses an ultra-short-pulse laser beam (18) for generating high-energy particles (19) that induce nuclear reactions, the apparatus can be made compact substantially, compared with the case of inducing nuclear reactions with a nuclear reactor, accelerator, etc., and the shielding equipment can also be simplified. As a result, radioisotopes, etc., that are produced by utilizing nuclear reactions can be provided at low cost. Furthermore, the present invention makes the nuclear-radiation management easier.

It also makes it possible to produce radioisotopes near a place, such as a radiology facility, etc., where radioisotopes are used. The present invention is especially suitable for the production of short half-life radioisotopes.

[0051] Since the present invention induces a nuclear reaction by the irradiation of a laser beam (18), the nuclear reaction can be controlled easily. That is, by turning on or off the laser beam (18), the nuclear reaction can be induced or terminated. By adjusting the irradiation intensity, output, etc., of the laser beam (18), the energy of the generated high-energy particles (19) can be adjusted, and the quantity of the nuclear reaction [product] can be controlled.

[0052] The embodiment described in the foregoing is one preferred embodiment example, but the present invention is not limited to this, and various modifications can be introduced within the scope of the 17 present invention. For example, in the explanation in the foregoing, the irradiation member (11) and the target component (13) are different members, but these may be comprised of the same member, and a nuclear reaction may be induced to the nuclei contained in the member irradiated by the laser beam (18). In this case, the range in which the nuclear reaction takes place can be limited to the vicinity of the region irradiated by the laser beam (18).



[0053] In the explanation presented in the foregoing, the high-energy particles (19) are mainly hydrogen nuclei or deuterium nuclei, but they can be mainly tritium nuclei or can be mixtures of these.

[0054] The irradiation of the laser beam (18) may be carried out by repeating it in intervals shorter than the half-life of the product formed by the nuclear reaction. This makes it possible to accumulate a short half-life product.

[0055] Furthermore, in the explanation presented in the foregoing, the member to be irradiated (11) was comprised of a thin film, but it can be a gas jet. That is, the laser beam (18) may be applied to, for example, a high-speed gas flow.

[0056] As explained in the foregoing, according to the present invention's method for inducing nuclear reactions, a laser beam having an energy that can ionize the member to be irradiated is applied momentarily to the member, thereby generating high-energy particles, and these high-energy particles are applied to the target component, thereby inducing a nuclear reaction; therefore, a nuclear reaction can be induced easily. That is, compared with the case of inducing nuclear reactions using reactors or accelerators, the present invention offers ease of handling and can induce nuclear reactions at low cost. Therefore, various kinds of x rays, electron beams, ion beams, radioisotopes, etc., which are used for the diagnostics of large-scale structures, medical applications, etc., can be provided easily at low

cost. Since it is not necessary to use radioisotopes as the radiation source, the present invention is also advantageous in respect to the radiation control.

[0057] The nuclear-reaction-inducing apparatus of the present invention is equipped with a member to be irradiated, a laser-beam-application means that applies a laser beam having an energy that can ionize the irradiated member so as to generate high-energy particles, and a target component that contains nuclei that are induced to have a nuclear reaction by the high-energy particles; therefore, nuclear reactions can be induced with a simple apparatus. This makes it possible to obtain radioisotopes and radiation sources at low cost.

[Brief Explanation of the Drawings]

[Fig. 1] A flowchart illustrating the nuclear-reaction-inducing method pertaining to the present invention.

[Fig. 2] A schematic diagram illustrating the nuclear-reaction-inducing apparatus pertaining to the present invention.

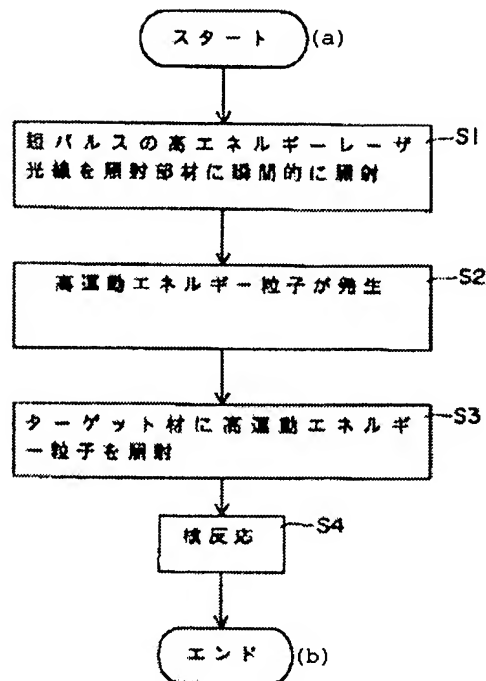
[Fig. 3] A graph showing the relationship between the intensity of a laser beam and the maximum energy of the generated ions.

[Explanation of Reference Numerals]

- 11 member to be irradiated
- 12 laser-beam-application means
- 13 target component
- 18 laser beam

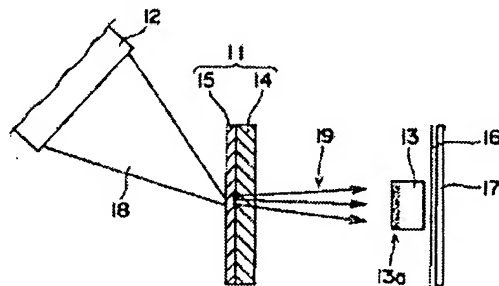
19 high-energy particles.

[FIG. 1]

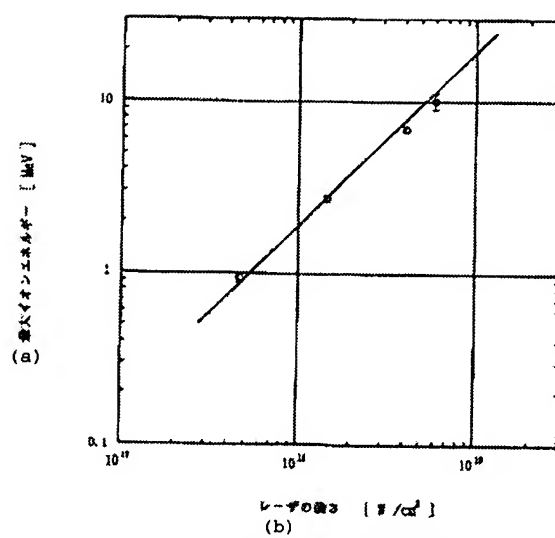


Key: a) start; b) end; S1) a short-pulse high-energy laser beam is applied momentarily to the irradiation member; S2) high kinetic energy particles are generated; S3) high-kinetic energy particles are applied to the target component; S4) nuclear reaction.

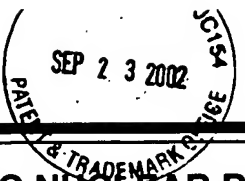
[FIG. 2]



[FIG. 3]



Key: a) maximum ion energy; b) laser intensity.

**METHOD AND DEVICE FOR INDUCING NUCLEAR REACTION**

Patent Number: JP2002107494

Publication  
date:

2002-04-10

Inventor(s):

NEMOTO KOSHICHI;; NAYUKI TAKUYA;; ANATOLY MAXIMCHUK;; VALERY YU  
BAISENKOFU;; SUDEEP BANERJEE;; SHAOTING GU;; KIRK FLIPPO;; GERALD  
MOUROU;; DONALD AMUSHUTADDAA

Applicant(s):

CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER IND;; REGENTS OF THE UNIV OF  
MICHIGANRequested  
Patent:☐ JP2002107494Application  
Number:

JP20000295208 20000927

Priority Number  
(s):

IPC

Classification: G21G4/00; G21B1/02; G21K1/00; G21K5/04; G21K5/08

EC

Classification:

Equivalents:

**Abstract****PROBLEM TO BE SOLVED:** To easily induce nuclear reaction.**SOLUTION:** A member to be irradiated is irradiated momentarily with a laser beam having an energy allowing ionization of an irradiation member (step S1) to generate particles of high energy (step S2), and a target material is irradiated with the high-energy particles (step S3) to induce nuclear reaction (step S4).

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**RECEIVED**

SEP 24 2002

OFFICE OF PETITIONS

RECEIVED  
MAY 28 2003  
LICENSING & REVIEW

# PTO 2003-5463

S.T.I.C. Translations Branch

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-107494

(P2002-107494A)

(43) 公開日 平成14年4月10日 (2002. 4. 10)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

ページ (参考)

G 2 1 G 4/00

G 2 1 G 4/00

G 2 1 B 1/02

G 2 1 B 1/02

G 2 1 K 1/00

G 2 1 K 1/00

A

5/04

5/04

A

5/08

5/08

R

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-295208 (P2000-295208)

(71) 出願人 000173809

財団法人電力中央研究所

東京都千代田区大手町1丁目6番1号

(22) 出願日 平成12年9月27日 (2000. 9. 27)

(74) 代理人 100087468

弁理士 村瀬 一美

特許法第30条第1項適用申請有り 2000年3月28日~31日 社団法人応用物理学会主催の「2000年 (平成12年) 春季第47回応用物理学関係連合講演会」において文書をもって発表

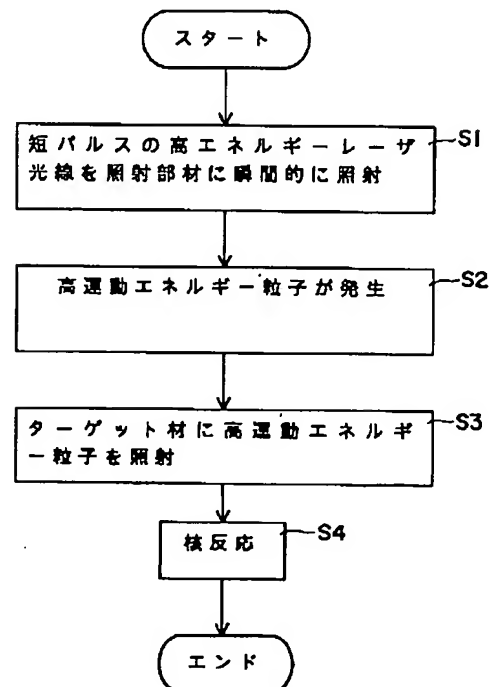
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 核反応の誘起方法および核反応誘起装置

(57) 【要約】

【課題】 簡便に核反応を誘起する。

【解決手段】 照射部材の電離が可能なエネルギーのレーザー光線を照射部材に瞬間的に照射 (ステップS1) して高エネルギー粒子を発生させ (ステップS2)、この高エネルギー粒子をターゲット材に照射 (ステップS3) して核反応を誘起する (ステップS4)。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 照射部材の電離が可能なエネルギーのレーザー光線を前記照射部材に瞬間的に照射して高エネルギー粒子を発生させ、この高エネルギー粒子をターゲット材に照射して核反応を誘起することを特徴とする核反応の誘起方法。

【請求項2】 前記レーザー光線は、パルス幅が10ピコ秒以下のパルスレーザー光線であることを特徴とする請求項1記載の核反応の誘起方法。

【請求項3】 前記ターゲット材と前記照射部材は同一部材であることを特徴とする請求項1または2記載の核反応の誘起方法。

【請求項4】 前記ターゲット材は、前記照射部材と異なる部材であることを特徴とする請求項1または2記載の核反応の誘起方法。

【請求項5】 前記高エネルギー粒子を100キロ電子ボルト以上の運動エネルギーに加速できる大きさのエネルギーを有するレーザー光線を前記照射部材に照射することを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の核反応の誘起方法。

【請求項6】 前記高エネルギー粒子は、電子、電磁波、正イオンのうち少なくともいずれか一つであることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の核反応の誘起方法。

【請求項7】 前記高エネルギー粒子を前記照射部材のレーザー照射面に対して垂直かつレーザーの照射源から離れる方向に加速することを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の核反応の誘起方法。

【請求項8】 前記高エネルギー粒子は水素原子核、重水素原子核、三重水素原子核のうち少なくともいずれか一つであり、当該高エネルギー粒子を前記ターゲット材に照射して核融合反応を誘起することを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載の核反応の誘起方法。

【請求項9】 高エネルギー粒子として水素原子核を、ボロン-11を含むターゲット材に照射し、 $^{11}\text{B}(\text{p}, \text{n})^{11}\text{C}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項10】 高エネルギー粒子として重水素原子核を、ボロン-10を含むターゲット材に照射し、 $^{10}\text{B}(\text{d}, \text{n})^{11}\text{C}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項11】 高エネルギー粒子として水素原子核を、ボロン-10を含むターゲット材に照射し、 $^{10}\text{B}(\text{p}, \alpha)^7\text{Be}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項12】 高エネルギー粒子として重水素原子核を、炭素-12を含むターゲット材に照射し、 $^{12}\text{C}(\text{d}, \text{n})^{13}\text{N}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項13】 高エネルギー粒子として水素原子核

を、窒素-14を含むターゲット材に照射し、 $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項14】 高エネルギー粒子として水素原子核を、酸素-16を含むターゲット材に照射し、 $^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項15】 高エネルギー粒子として重水素原子核を、窒素-14を含むターゲット材に照射し、 $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項16】 高エネルギー粒子として水素原子核を、窒素-15を含むターゲット材に照射し、 $^{15}\text{N}(\text{p}, \text{n})^{15}\text{O}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項17】 高エネルギー粒子として重水素原子核を、ネオン-20を含むターゲット材に照射し、 $^{20}\text{Ne}(\text{d}, \alpha)^{18}\text{F}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項18】 高エネルギー粒子として水素原子核を、酸素-18を含むターゲット材に照射し、 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ で表される核融合反応を誘起することを特徴とする請求項8記載の核反応の誘起方法。

【請求項19】 核反応による生成物の半減期よりも短い間隔で前記レーザー光線の照射を繰り返し行うことを特徴とする請求項1から18のいずれかに記載の核反応の誘起方法。

【請求項20】 前記照射部材は、薄膜またはガスジェットであることを特徴とする請求項1から19のいずれかに記載の核反応の誘起方法。

【請求項21】 前記高エネルギー粒子を前記ターゲット材に照射して前記ターゲット材中の原子核を励起させることを特徴とする請求項1から7、19、20のいずれかに記載の核反応の誘起方法。

【請求項22】 照射部材と、該照射部材の電離が可能なエネルギーのレーザー光線を前記照射部材に照射して高エネルギー粒子を発生させるレーザー光線照射手段と、前記高エネルギー粒子によって核反応を誘起される原子核を含むターゲット材を備えることを特徴とする核反応誘起装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、核反応の誘起方法および核反応誘起装置に関する。さらに詳述すると、本発明は、レーザー光線を用いた核反応の誘起方法および核反応誘起装置に関するものであって、医療、材料検査、設備診断、核種消滅、核反応シミュレータへの利用に適した簡便な核反応の誘起方法および核反応の誘起装置に関するものである。

【0002】



【従来の技術】核反応を起こさせるためには、中性子、水素原子核等の荷電粒子、電磁波（光子）等の粒子に大きな運動エネルギーを与えてターゲットとなる原子核に衝突等させる必要がある。従来、大きな運動エネルギーを有する粒子を得るために、原子炉や加速器等の特別の設備機器類を利用したり、あるいは放射性同位体の核崩壊現象を利用していた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の方法では、核管理上の問題が有ったり、高価かつ大型の装置が必要となり、簡便な方法とはいえない。

【0004】本発明は、簡便に核反応を誘起できる核反応の誘起方法および核反応誘起装置を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するために請求項1記載の核反応の誘起方法は、照射部材の電離が可能なエネルギーのレーザー光線を照射部材に瞬間的に照射して高エネルギー粒子を発生させ、この高エネルギー粒子をターゲット材に照射して核反応を誘起するものである。

【0006】高エネルギーのパルスレーザー光線を照射部材に照射すると、高エネルギー粒子が発生する。この高エネルギー粒子はターゲット材に衝突し、ターゲット材中の原子核に核反応を生じさせる。

【0007】また、請求項2記載の核反応の誘起方法は、レーザー光線が、パルス幅が10ピコ秒以下のパルスレーザー光線である。したがって、レーザー光線のピークパワーを増加させることができる。また、レーザー光線の照射領域の原子核が拡散し始める前に照射が終了するので、原子核を加速して高エネルギー化させる電界の形成に有利になる。

【0008】また、請求項3記載の核反応の誘起方法のように、ターゲット材と照射部材は同一部材であっても良く、請求項4記載の核反応の誘起方法のように、ターゲット材は、照射部材と異なる部材であっても良い。

【0009】また、請求項5記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子を100キロ電子ボルト以上の運動エネルギーに加速できる大きさのエネルギーを有するレーザー光線を照射部材に照射するものである。したがって、高エネルギー粒子によって核反応を誘起することができる。

【0010】また、請求項6記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子を、電子、電磁波、正イオンのうち少なくともいずれか一つとしている。なお、これらの高エネルギー粒子のうち主に発生する粒子の選択は、ターゲット材の選択によって可能である。例えば、ターゲット材として、ガスなどを用いれば電子が、薄膜を用いれば正イオンが、厚い金属ターゲットを用いれば電磁波（ $\gamma$ 線レベルの電磁波）を選択的に発生させることがで

きる。

【0011】また、請求項7記載の核反応の誘起方法のように、高エネルギー粒子を照射部材のレーザー照射面に対して垂直かつレーザーの照射源から離れる方向に加速するようにしても良い。

【0012】また、請求項8記載の核反応の誘起方法のように、高エネルギー粒子は、水素原子核、重水素原子核、三重水素原子核のうち少なくともいずれか一つであり、当該高エネルギー粒子をターゲット材に照射して核融合反応を誘起するようにしても良い。

【0013】また、請求項9記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として水素原子核を、ボロン-11を含むターゲット材に照射し、 $^{11}\text{B}(\text{p}, \text{n})^{11}\text{C}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体である炭素-11が製造される。

【0014】また、請求項10記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として重水素原子を、ボロン-10を含むターゲット材に照射し、 $^{10}\text{B}(\text{d}, \text{n})^{11}\text{C}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体である炭素-11が製造される。

【0015】また、請求項11記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として水素原子核を、ボロン-10を含むターゲット材に照射し、 $^{10}\text{B}(\text{p}, \alpha)^7\text{Be}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体であるベリリウム-7が製造される。

【0016】また、請求項12記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として重水素原子を、炭素-12を含むターゲット材に照射し、 $^{12}\text{C}(\text{d}, \text{n})^{13}\text{N}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体である窒素-13が製造される。

【0017】また、請求項13記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として水素原子核を、窒素-14を含むターゲット材に照射し、 $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体である炭素-11が製造される。

【0018】また、請求項14記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として水素原子核を、酸素-16を含むターゲット材に照射し、 $^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体である窒素-13が製造される。

【0019】また、請求項15記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として重水素原子核を、窒素-14を含むターゲット材に照射し、 $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したが

って、短寿命放射性同位体である酸素-15が製造される。

【0020】また、請求項16記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として水素原子核を、窒素-15を含むターゲット材に照射し、 $^{15}\text{N}(p, n)^{15}\text{O}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体である酸素-15が製造される。

【0021】また、請求項17記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として重水素原子核を、ネオン-20を含むターゲット材に照射し、 $^{20}\text{Ne}(d, \alpha)^{18}\text{F}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、短寿命放射性同位体であるフッ素-18が製造される。

【0022】また、請求項18記載の核反応の誘起方法は、高エネルギー粒子として水素原子核を、酸素-18を含むターゲット材に照射し、 $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ で表される核融合反応を誘起するものである。したがって、放射性同位体であるフッ素-18が製造される。

【0023】また、請求項19記載の核反応の誘起方法は、核反応による生成物の半減期よりも短い間隔で前記レーザー光線の照射を繰り返すものである。したがって、半減期の短い生成物が蓄積される。

【0024】また、請求項20記載の核反応の誘起方法のように、照射部材を、薄膜またはガスジェットとしても良い。

【0025】また、請求項21記載の核反応の誘起方法のように、高エネルギー粒子をターゲット材に照射してターゲット材中の原子核を励起させるようにしても良い。

【0026】さらに、請求項22記載の核反応誘起装置は、照射部材と、該照射部材の電離が可能なエネルギーのレーザー光線を照射部材に照射して高エネルギー粒子を発生させるレーザー光線照射手段と、高エネルギー粒子によって核反応を誘起される原子核を含むターゲット材を備えるものである。

【0027】したがって、レーザー照射手段からレーザー光線が照射部材に照射されると、高エネルギー粒子が発生する。この高エネルギー粒子はターゲット材に衝突し、ターゲット材中の原子核に核反応を引き起こさせる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の構成を図面に示す最良の形態に基づいて詳細に説明する。

【0029】図1に本発明を適用した核反応の誘起方法を、図2に本発明を適用した核反応誘起装置をそれぞれ示す。核反応誘起装置は、照射部材11と、該照射部材11の電離が可能なエネルギーのレーザー光線18を照射部材11に照射して高エネルギー粒子19を発生させるレーザー光線照射手段12と、高エネルギー粒子19によって核反応を誘起される原子核を含むターゲット材13

を備えている。

【0030】照射部材11は、例えば薄膜、より具体的には例えばマイラのフィルム14に重水素置換プラスチックを塗布して重水素置換プラスチック層15を形成したものである。フィルム14の厚さは、例えば約10 $\mu\text{m}$ である。

【0031】レーザー光線照射手段12は、例えば10TWの出力のハイブリッドチタン：サファイヤ/Nd：燐酸塩ガラスCPAレーザー装置である。このレーザー装置は、例えばパルス幅400フェムト秒で3ジュール程度のエネルギーを有するレーザー光線18を、例えば直径10ミクロン程度の大きさに集光して照射部材11の重水素置換プラスチック層15に照射することができる。即ち、このレーザー装置では、発振器で発生させたレーザー光線をパルス幅拡張器でパルス幅の拡張を行った後、増幅器で増幅し、さらにパルス幅圧縮機でパルス幅を圧縮することでピークパワーを増加させている。そして、この様にして発生させた超短パルスでピークパワーの大きなレーザー光線を集光レンズによって集光し、照射部材11の重水素置換プラスチック層15に照射する。例えば、発振器で発生させたパルス時間幅が0.1ピコ秒、レーザーエネルギーが1マイクロJのレーザー光線をパルス幅拡張器によってパルス時間幅が1ナノ秒、レーザーエネルギーが10マイクロJのレーザー光線にした後、増幅器でパルス時間幅が1ナノ秒、レーザーエネルギーが1J以下のレーザー光線にし、さらにパルス幅圧縮器によってパルス時間幅が0.1ピコ秒、レーザーエネルギーが1J以下のレーザー光線に変換する。このようにパルス時間幅を圧縮することで、レーザー光線18のピーク出力を約10テラWにすることができる。

【0032】ターゲット材13は、例えばボロン-10を約90パーセントまで濃縮したボロン片である。ターゲット材13は、照射部材11のレーザー光線18が照射される部分の真後ろに、例えば8mm離して配置される。

【0033】なお、ターゲット材13の後方には、ポリエチレンテレフタレートフィルムで構成されたフィルタ16とモニタ17が配置されている。これらは、ターゲット材13に照射される高エネルギー粒子19のエネルギーを推定するためのものである。即ち、フィルタ16の厚さとこれを透過できる粒子の運動エネルギーとの間には一定の関係があるので、モニタ17によってフィルタ16を透過した粒子を検出することで、当該粒子が一定値以上の運動エネルギーを有していたことがわかる。例えば、水素イオンの場合、厚さ10 $\mu\text{m}$ のフィルタ16を透過するためには1MeV程度の運動エネルギーが必要であることから、モニタ17によって水素イオン（水素原子核）が検出されると、その水素イオンは1MeV程度以上の運動エネルギーを有していることがわかる。ただし、フィルム16及びモニタ17は必ず必要な

ものではなく、省略可能である。

【0034】核反応誘起装置の周囲は、図示しない遮蔽壁によって遮蔽されており、高エネルギーのレーザー光線18を照射部材11に照射することで発生した高エネルギー粒子19や、核反応生成物から放出される放射線の漏れを防止している。

【0035】次に、核反応の誘起方法について説明する。この核反応の誘起方法は、照射部材11の電離が可能なエネルギーのレーザー光線18を照射部材11に瞬間的に照射（ステップS1）して高エネルギー粒子19を発生させ（ステップS2）、この高エネルギー粒子19をターゲット材13に照射して（ステップS3）核反応を誘起する（ステップS4）ものである。

【0036】なお、照射するレーザー光線18としてはパルス幅が10ピコ秒以下のパルスレーザー光線の使用が好ましい。パルス幅が10ピコ秒よりも長くなると、レーザー光線18の照射時間が長くなることからレーザー光線18によって電離された原子核の拡散が照射終了前に始まり、電荷分離領域の形成が不十分になって原子核を十分に加速するのが困難になるからである。また、同じエネルギーでもパルス幅を短くすることでピークパワーを高くすることができ、より電荷分離領域の正負の差を大きくすることができるからである。

【0037】レーザー光線照射手段12から、例えばパルス幅400フェムト秒で3ジュール程度のエネルギーを有するレーザー光線18を直径10ミクロン程度の大きさに集光して照射部材11の重水素置換プラスチック層15に照射する（ステップS1）と、レーザー光線18の非常に高い電界や光圧力、レーザーパルスにより誘起されたプラズマ波により生じた進行電界により、極微量な照射領域から電子が追い出され加速される。

【0038】一方、電子が追い出されて電離された原子核（正イオン）は電子に比べて質量が大きいので、レーザー光線18の照射後しばらくの間はほとんど動かない。このため、極微量な照射領域が正イオンの高密度領域となり、その静電気で正イオンは爆発的に加速され、例えば図3に示すような10メガ電子ボルトに近い高エネルギーの正イオンが発生する（ステップS2）。つまり、レーザー光線18を照射部材11に照射することで、高エネルギー粒子19としての正イオンを発生させることができる。ただし、必ずしも高エネルギー粒子19のエネルギーを10メガ電子ボルト近くまで高める必要はなく、例えば、100キロ電子ボルト以上のエネルギーに高めることができれば良く、より好ましくは、核反応を誘起できる程度の大きさのエネルギーに高めることができるれば良い。

【0039】ここで、レーザー光線18の照射領域は一定の面積を有しているため、正イオンの高密度領域は直径数十 $\mu\text{m}$ 、厚み10 $\mu\text{m}$ 以下程度のシート状のものとな

り、平面的な電位分布が形成される。したがって、この電界によって加速される正イオンはレーザー光線18の照射面に対して垂直で、かつレーザーの照射源であるレーザー光線照射手段12から離れる方向、即ち、照射部材11の後方のターゲット材13に向けて進む。なお、実験では、正イオンの流れであるイオンビームの方向は全角40度程度の広がりがあった。

【0040】本実施形態では、レーザー光線18を照射部材11の重水素置換プラスチック層15に照射しているので、高エネルギーの正イオンとして主に重水素イオンが発生する。つまり、レーザー光線18を照射部材11に照射することで、高エネルギー粒子19としての重水素原子核を発生させることができる。この高エネルギーの重水素イオン（重水素原子核）はボロン片であるターゲット材13に照射される（ステップS3）。したがって、ターゲット材13では $^{10}\text{B}(\text{d}, \text{n})^{11}\text{C}$ で表される核反応が生じる（ステップS4）。このため、炭素-11（ $^{11}\text{C}$ ）と中性子（ $\text{n}$ ）を生産することができる。なお、核反応はターゲット材13の表面から例えば1mmの深さまでの領域13aで発生する。したがって、生成物である炭素-11がターゲット材13のどこに存在するかが明らかである。

【0041】なお、照射部材11に重水素置換プラスチック層15の形成を省略しても良く、また、ターゲット材13としてはボロン-10を濃縮していないものを使用しても良い。この場合には、高エネルギーの正イオンとして主に水素イオンが発生する。つまり、レーザー光線18を照射部材11に照射することで、高エネルギー粒子19としての水素原子核を発生させることができる。この高エネルギーの水素イオン（水素原子核）がターゲット材13に照射されると $^{11}\text{B}(\text{p}, \text{n})^{11}\text{C}$ で表される核反応が生じる。このため、炭素-11と中性子を生産することができる。

【0042】炭素-11は半減期20分のほぼ純粋なポジトロン源であり、医療や材料の欠陥検査などに使用することができる。また、半減期が20分と短いために一晚経過すると放射能が大きく減衰し、ナトリウム-22などと比較すると放射性物質管理上大きなメリットがある。前述のレーザー出力では、レーザー光線18の1パルスあたり2ナノキュリーの炭素-11を生成することが可能である。これを10Hzのパルス繰り返しのレーザー装置を用いて1時間程度照射を繰り返すことにより、10マイクロキュリー以上の炭素-11を得ることができる。この値は校正用線源などとして既に市販されているナトリウム-22と同じレベルに相当する。

【0043】なお、レーザー光線18の照射領域から追い出されて加速された電子は高エネルギーの電子であり、照射部材11やその他の物質等を透過する際に主として制動輻射により高エネルギーのX線を発生させる。このX線は、高エネルギー電子が進んでいた方向に発生する

ので、レーザ光線18の照射面に対して垂直で、かつレーザ光線照射手段12から離れる方向に向けて発生する。

【0044】また、発生したX線のうち1.02(=0.51×2)MeVよりも大きなエネルギーを有しているものは、他の物質との相互作用により電子対を生成させることもある。即ち、高エネルギーのポジトロン(陽電子)と電子の発生が可能である。つまり、レーザ光線18を照射部材11に照射することで、高エネルギー粒子19としての電子、X線(電磁波)、陽電子を発生させることができる。

【0045】一方、レーザ光線18の照射によって発生する高エネルギーの正イオンは照射部材11中の他の物質との間で核融合反応や核分裂反応を起こさせることが可能である。そして、これらの反応で生じた $\gamma$ 線によって( $\gamma$ , n)反応などが引き起こされ、反応前元素の同位体と中性子が生成される。

【0046】照射部材11とターゲット材13の材料の組み合わせを変えることで、上述の $^{10}\text{B}(\text{d}, \text{n})^{11}\text{C}$ 反応、 $^{11}\text{B}(\text{p}, \text{n})^{11}\text{C}$ 反応の他にも種々の核反応を誘起することができる。例えば、照射部材11として水素原子を含むものを使用することで、高エネルギーの正イオンとして主に水素原子核(p)が発生するので、この高エネルギーの水素原子核を、窒素-14を含むターゲット材13に照射することで、 $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体である炭素-11と $\alpha$ 粒子を生成することができる。また、高エネルギー粒子19として水素原子核を、酸素-16を含むターゲット材13に照射することで、 $^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体である窒素-13と $\alpha$ 粒子を生成することができる。さらに、高エネルギー粒子19として水素原子核を、酸素-18を含むターゲット材13に照射することで、 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体であるフッ素-18と中性子を生成することができる。また、高エネルギー粒子19として水素原子核を、ボロン-10を含むターゲット材13に照射することで、 $^{10}\text{B}(\text{p}, \alpha)^7\text{Be}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体であるベリリウム-7と $\alpha$ 粒子を生成することができる。また、高エネルギー粒子19として水素原子核を、窒素-15を含むターゲット材13に照射することで、 $^{15}\text{N}(\text{p}, \text{n})^{15}\text{O}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体である酸素-15と中性子を生成することができる。

【0047】また、照射部材11として重水素原子を含むものを使用することで、高エネルギーの正イオンとして主に重水素原子核(d)が発生するので、この高エネルギーの重水素原子核を、炭素-12を含むターゲット

材13に照射することで、 $^{12}\text{C}(\text{d}, \text{n})^{13}\text{N}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体である窒素-13と中性子を生成することができる。また、高エネルギー粒子19として重水素原子核を、窒素-14を含むターゲット材13に照射することで、 $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体である酸素-15と中性子を生成することができる。さらに、高エネルギー粒子19として重水素原子核を、ネオン-20を含むターゲット材13に照射することで、 $^{20}\text{Ne}(\text{d}, \alpha)^{18}\text{F}$ で表される核融合反応を誘起することができ、短寿命放射性同位体であるフッ素-18と $\alpha$ 粒子を生成することができる。

【0048】さらに、上述の出力のレーザ光線18の照射によって発生するX線、正イオン等の粒子のエネルギーは核分裂反応の閾値以上になるため、容易に核反応を誘起することができる。例えば、照射部材11として水素原子を含むものを、ターゲット材13としてウラン等を含むものを使用し、高エネルギー、例えば10MeV程度のエネルギーを持つ水素イオンをターゲット材13に照射することでウラン等に核分裂反応を起こさせることが可能である。

【0049】また、原子核を励起することも可能である。即ち、レーザ光線18を照射部材11に照射することで発生する高エネルギー粒子19によってターゲット材13中の原子核を励起して核異性体を生成することができる。核異性体がより安定した核異性体に変化する核異性体転移現象では一定エネルギーの $\gamma$ 線が放出されるので、ラインスペクトルの $\gamma$ 線源を得ることができるとともに、 $\gamma$ 線レーザへの展開が可能である。

【0050】本発明では、核反応を誘起する高エネルギー粒子19を発生させるために超短パルスのレーザ光線18を使用しているので、原子炉や加速器等を使用して核反応を誘起する場合に比べて、装置を大幅に小型化することができる。このため、核反応を利用して製造される放射性同位体等を低コストで提供することができる。また、放射線の管理が容易になる。さらに、放射線医療施設等の放射性同位体の消費場所により近い場所で放射性同位体の製造が可能になり、特に半減期の短い放射性同位体の製造に適している。

【0051】また、本発明はレーザ光線18を照射することで核反応を誘起するので、核反応の制御が簡単である。つまり、レーザ光線18のオン・オフによって核反応を誘起したり停止させたりすることができる。また、レーザ光線18の照射密度や出力等によって発生させる高エネルギー粒子19のエネルギーを調整することができ、核反応の量を制御することができる。

【0052】なお、上述の形態は本発明の好適な形態の一例ではあるがこれに限定されるものではなく本発明の

要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば、上述の説明では、照射部材11とターゲット材13を異なる部材としていたが、これらを同一部材としてレーザー光線18を照射した部材に含まれる原子核に核反応を誘起するようにしても良い。この場合には、核反応の起きる範囲をレーザー光線18の照射領域の近傍に限定することができる。

【0053】また、上述の説明では、高エネルギー粒子19が主に水素原子核又は重水素原子核である場合について説明したが、例えば主に三重水素原子核であっても良く、さらには、これらが混じったものであっても良い。

【0054】また、核反応による生成物の半減期よりも短い間隔でレーザー光線18の照射を繰り返し行うようにしても良い。この様にすることで、半減期の短い生成物を蓄積することができる。

【0055】さらに、上述の説明では、照射部材11を薄膜としていたが、ガスジェットでも良い。即ち、例えばガス的高速流にレーザー光線18を照射するようにしても良い。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の核反応の誘起方法では、照射部材の電離が可能なエネルギーのレーザー光線を照射部材に瞬間的に照射して高エネルギー粒子を発生させ、この高エネルギー粒子をターゲット材に照射して核反応を誘起するので、簡便に核反応を誘起することができる。すなわち、原子炉や加速器を使用して核反応を誘起する場合に比べて、取り扱いが容易で、し

かも低コストで核反応を誘起することができる。このため、大型構造物の設備診断、医療応用などに使用される種々のX線、電子ビーム、イオンビーム、放射性同位体等を低コストで簡便に供給することができる。また、線源として放射性同位体を使用する必要がないので、放射線管理面でも有利である。

【0057】また、本発明の核反応誘起装置では、照射部材と、該照射部材の電離が可能なエネルギーのレーザー光線を照射部材に照射して高エネルギー粒子を発生させるレーザー光線照射手段と、高エネルギー粒子によって核反応を誘起される原子核を含むターゲット材を備えているので、簡便な装置で核反応を誘起することができる。このため、低コストで放射性同位体や線源を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

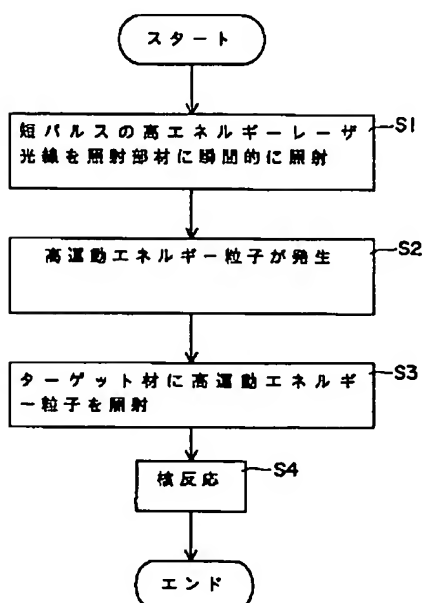
【図1】本発明に係る核反応の誘起方法を示すフローチャートである。

【図2】本発明に係る核反応誘起装置を示す概念図である。

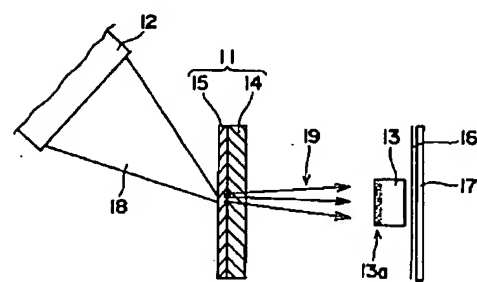
【図3】レーザー光線の強さと発生するイオンの最大エネルギーとの関係を示す図である。

- 【符号の説明】
- 11 照射部材
  - 12 レーザ光線照射手段
  - 13 ターゲット材
  - 18 レーザ光線
  - 19 高エネルギー粒子

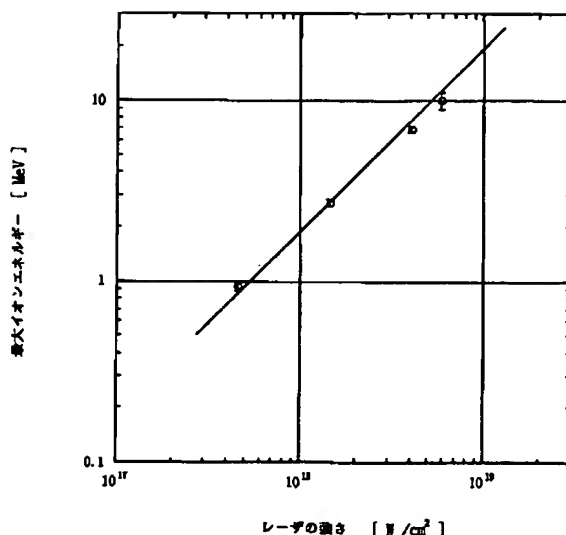
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(71)出願人 597015922

ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシ  
ティ オブ ミシガン

The Regents of the  
University of Michi  
gan

アメリカ合衆国 ミシガン 48109-1280,  
アン アーバー, エス. ステイト  
ストリート 3003, ルーム 2071, ウ  
オルベリン タワー

Wolverine Tower, Ro  
om 2071, 3003 S. State  
Street, Ann Arbor,  
MI 48109-1280, U. S. A.

(72)発明者 根本 孝七

東京都狛江市岩戸北2-11-1 財団法人  
電力中央研究所 狛江研究所内

(72)発明者 名雪 琢弥

東京都狛江市岩戸北2-11-1 財団法人  
電力中央研究所 狛江研究所内

(72)発明者 アナトリー, マクシムチャック

アメリカ合衆国 48109-2099 ミシガン  
州 アン アーバー, ボニステール  
2200, アイエステー ビルディング  
ユニバーシティー オブ ミシガン, セ  
ンター フォー ウルトラファスト オブ  
ティカル サイエンス内

(72)発明者 バレリー ユ. バイセンコフ

アメリカ合衆国 48109-2099 ミシガン  
州 アン アーバー, ボニステール  
2200, アイエステー ビルディング  
ユニバーシティー オブ ミシガン, セ  
ンター フォー ウルトラファスト オブ  
ティカル サイエンス内

(72)発明者 スディーブ バネルジー

アメリカ合衆国 48109-2099 ミシガン  
州 アン アーバー, ボニステール  
2200, アイエステー ビルディング  
ユニバーシティー オブ ミシガン, セ  
ンター フォー ウルトラファスト オブ  
ティカル サイエンス内

(72)発明者 シャオティン グ  
アメリカ合衆国 48109-2099 ミシガン  
州 アン アーバー, ボニステール  
2200, アイエステー ビルディング  
ユニバーシティ オブ ミシガン, セ  
ンター フォー ウルトラファスト オブ  
ティカル サイエンス内

(72)発明者 カーク フリップ  
アメリカ合衆国 48109-2099 ミシガン  
州 アン アーバー, ボニステール  
2200, アイエステー ビルディング  
ユニバーシティ オブ ミシガン, セ  
ンター フォー ウルトラファスト オブ  
ティカル サイエンス内

(72)発明者 ジェラルド モウロウ  
アメリカ合衆国 48109-2099 ミシガン  
州 アン アーバー, ボニステール  
2200, アイエステー ビルディング  
ユニバーシティ オブ ミシガン, セ  
ンター フォー ウルトラファスト オブ  
ティカル サイエンス内

(72)発明者 ドナルド アムシュタッター  
アメリカ合衆国 48109-2099 ミシガン  
州 アン アーバー, ボニステール  
2200, アイエステー ビルディング  
ユニバーシティ オブ ミシガン, セ  
ンター フォー ウルトラファスト オブ  
ティカル サイエンス内